

ZMIANY W POBRANIU FOSFORU I JEGO ZAWARTOŚCI W ROŚLINNOŚCI NA PRZYKŁADZIE 20-LETNIEGO DOŚWIADCZENIA ŁĄKOWEGO W FALENTACH

Andrzej SAPEK

Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Ochrony Jakości Wody

Słowa kluczowe: doświadczenie wieloletnie, fosfor, łąka, nawożenie, zaniechanie nawożenia fosforem

Streszczenie

Przeprowadzono doświadczenie łąkowe nad wpływem 20-letniego nawożenia trwałych użytków zielonych stałymi dawkami fosforu na pobranie tego składnika przez roślinność i jego w niej zawartość. Doświadczenie prowadzono w warunkach optymalnego uwilgotnienia i napowietżenia gleby, które uzyskano przez odcięcie podsiąku kapilarnego, a niedobór wody uzupełniano nawodnieniem deszczownianym. Plon suchej masy był decydującym czynnikiem o pobraniu fosforu, lecz nie o zawartości tego składnika w roślinach. Plon wyraźnie malał w pierwszych 12 latach doświadczenia, by w następnych utrzymywać się na wyrównanym poziomie. Pobrane ilości fosforu w pierwszych 7 latach doświadczenia odpowiadały $100 \pm 10\%$ ilości zastosowanej z nawozami. W końcowej fazie doświadczenia pobranie to odpowiadało tylko od 40 do 60% ilości zastosowanej, z wyjątkiem obiektu o najniższym poziomie nawożenia azotem (N-120). Pobranie fosforu na obiektach częściowo nawożonych gnojówką było zawsze mniejsze niż nawożonych mineralnie.

W pierwszych 5 latach po zaniechaniu nawożenia fosforem obserwowano tylko niewielkie zmniejszenie plonów oraz zawartości tego składnika w roślinności w porównaniu z obiektem nawożonym fosforem. Istotne różnice (gdzie $p < 0,10$) stwierdzano dopiero po 8 latach od zaniechania nawożenia. Wyniki otrzymane na przykładzie łąki średnio zasobnej w fosfor potwierdzają przypuszczenie, że w celu ochrony środowiska można czasowo ograniczyć lub zaniechać nawożenia fosforem trwałych użytków zielonych bez narażania się na istotne zmniejszenie korzyści ekonomicznych. Wymagałoby to jednak potwierdzenia w większej liczbie doświadczeń nad nawożeniem łąk fosforem, które jednak nie są obecnie szerzej podejmowane.

Adres do korespondencji: prof. dr hab. A. Sapek, Instytut Technologiczno-Przyrodniczy w Falentach, Zakład Ochrony Jakości Wody, al. Hrabstwa 3, 05-090 Raszyn; tel. +48 (22) 720-05-31 w. 223, e-mail: a.sapek@itp.edu.pl

WSTĘP

Wieloletnie nawożenie fosforem trwałych użytków zielonych stwarza równowagę w obiegu tego składnika między glebą a roślinnością. Stosowane dawki nawozu mogą nie równoważyć ilości fosforu pobranego z plonem z łąki lub je przewyższać. W pierwszym przypadku można po pewnym czasie spodziewać się wystąpienia niedoboru tego składnika, objawiającego się zmniejszeniem zawartości fosforu w roślinach i ostatecznie obniżaniem się plonu. Nadmierne dawki fosforu zwiększają jego zawartość nie tylko w roślinach, lecz również i w glebie. Wprawdzie do niedawna uważano, że ważnym celem nawożenia fosforem było wzbogacenie nim paszy, co obecnie ma drugorzędne znaczenie wobec stosowania dodatków mineralnych w diecie bydła. W drugim przypadku nadmierna ilość fosforu będzie gromadziła się w glebie, co może spowodować zwiększenie jej zasobności w ten składnik, niepożądaną z punktu widzenia ochrony środowiska przed zbyt dużą jego eutrofizacją i zachowania zasobów naturalnych. Ponadto stosowanie większych od wymaganych dawek nawozów fosforowych naraża rolnika na niepotrzebne koszty.

W licznych, wysoko wydajnych gospodarstwach, od wielu lat stosowano na użytki zielone nadmierne dawki nawozów fosforowych, a dodatkowe, duże ilości tego składnika wnoszono do gospodarstwa w postaci mineralnych dodatków do paszy, które często przewyższały stosowane dawki nawozów fosforowych [SAPEK, WALCZUK 2008]. Wyjaśnienia wymagają skutki wieloletniego nawożenia użytków zielonych fosforem na stabilizację plonów i pobranie tego składnika przez roślinność na tle potencjalnej zawartości tego składnika w glebie.

Celem pracy było wykazanie wpływu wieloletniego nawożenia fosforem na jego zachowanie się w układzie gleba-roślinność łąkowa oraz skutków zaniechania nawożenia tym składnikiem. Rozpatrywano następujące zagadnienia:

- wpływ utrzymywania optymalnego uwilgotnienia i napowietrzenia gleby na pobieranie fosforu przez roślinność łąkową,
- zakres zmniejszania się w kolejnych latach zawartości fosforu w roślinności łąkowej i pobierania tego składnika w stałych dawkach nawozów fosforowych,
- różnice w działaniu fosforu z nawozu mineralnego w porównaniu z nawozem naturalnym – gnojówką,
- pochodzenie nadmiernej ilości fosforu, pobranej z plonem, w odniesieniu do ilości zastosowanej z nawozami,
- skutki zaniechania nawożenia fosforem na plon suchej masy i pobranie tego składnika.

W opracowaniu wykorzystano wyniki badań z 20-letniego doświadczenia polowego (1987–2007), założonego w celu śledzenia przemian i losów azotu w glebach użytkowanych łąkowo w ramach projektu „Opracowanie sposobów gospodarowania w rolnictwie ograniczające straty azotu z gleby w wyniku wymywania

azotanów i denitryfikacji””, zleconego przez Ministerstwo Rolnictwa Stanów Zjednoczonych [Elaboration... 1987–1994].

OPIS DOŚWIADCZENIA I METODY

Doświadczenie założono w Falentach w 1987 r. na polu, wieloletnim nieużytku porośniętym roślinnością trawiastą, na glebie – czarnej ziemi zdegradowanej, o składzie granulometrycznym gliny średniej do głębokości 80 cm, a poniżej piasku luźnego lub słabo gliniastego. W celu prowadzenia badań nad wymywaniem składników nawozowych na nieużytku założono drenaż na głębokości 180 cm, by zapobiegać dopływowi składników nawozowych z podsiąkającą wodą. Aby zapewnić optymalną wilgotność gleby stosowano nawodnienie deszczowniane w granicach od 120 do 240 mm rocznie, w dawkach polewowych 20 mm, w liczbie zależnej od aktualnej zawartości wody w glebie.

Wiosną 1987 r. pole pod doświadczenie zaorano, następnie zastosowano wapno węglanowe w dawce $2,0 \text{ t CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$, a po niezbędnych zabiegach uprawowych obsiano mieszanką traw.

Doświadczenie założono metodą losowanych bloków w czterech powtórzeniach na poletkach o powierzchni 60 m^2 . W pierwszym roku doświadczenia całą powierzchnię pod wszystkimi poletkami nawożono dawką nawozów przewidzianą na obiekt N-240 (tab. 1). W pierwszych trzech latach (1988–1990) zbierano trzy pokosy, a od 1991 r. – cztery. Wydzielono pięć obiektów nawozowych, na trzech stosowano wyłącznie nawożenie mineralne, a na dwóch gnojówkę bydlęcą w ilości odpowiadającej dawce potasu, w który ten nawóz jest najbogatszy. Stosowano trzy poziomy nawożenia azotem: 120, 240 i $360 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ i odpowiednie poziomy nawożenia fosforem i potasem, według zalecanych wówczas dawek (tab. 1). Obiekt N-240 prowadzono w dwóch powtórzeniach, na jednym z nich zaniechano nawo-

Tabela 1. Stosowane dawki nawozów

Table 1. Applied fertiliser doses

Obiekt Object	Dawka nawozów, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$		Applied fertiliser doses, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$	
	N	P	K w latach 1988–1990 during 1988–1990	K od 1991 r. since 1991
N-120	120	35	83	100
N-240	240	52,5	125	150
N-360	360	70	200	200
G-240	240	52	125	150
G-360	360	70	200	200

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

zenia fosforem w 1997 r. Azot stosowano w postaci saletry amonowej (34,5% N) w odpowiednio rozłożonych dawkach przed każdym pokosem, fosfor jednorazowo przed pierwszym pokosem w postaci superfosfatu podwójnego (20,1% P), a potas pod pierwszy i drugi pokos w postaci soli potasowej (47,3% K). Objętości gnojówki ustalano na poziomie odpowiadającym dawkom potasu na obiektach NG-240 i NG-360, na których zapotrzebowanie na azot i fosfor uzupełniano nawozami mineralnymi. Średnie stężenie fosforu w gnojówce wynosiło $0,088 \text{ g P}\cdot\text{dm}^{-3}$, a potasu $3,2 \text{ g K}\cdot\text{dm}^{-3}$. W latach 1987–1990 zbierano trzy pokosy, a w latach 1991–2007 – cztery.

Plony z poletek na świeżo zagospodarowanym i nawożonym nieużytku były bardzo duże, co sprzyjało zachwaszczeniu runi i zakłócało zbiór pokosów. Od 1991 r. wprowadzono zbiór czterech pokosów w celu stabilizacji runi, co jednak nie zapobiegło inwazji chwastów i potrzebna była renowacja łąki, którą przeprowadzono w 1994 r. Próbkę roślinności pobierano i analizowano osobno z każdego poletka obiektu, następnie obliczano średnią zawartość składników w $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Próbkę roślinności mineralizowano w mieszaninie kwasów siarkowego, azotowego i nadchlorowego. Analizy wykonywano za pomocą autoanalizatora przepływowego firmy Skalar. Fosforany oznaczano kolorymetrycznie w postaci błękitu molibdenowego, zgodnie z metodyką producenta urządzenia. Przedstawione dane zbierano od 1 stycznia 1988 r. do 31 grudnia 2007 r.

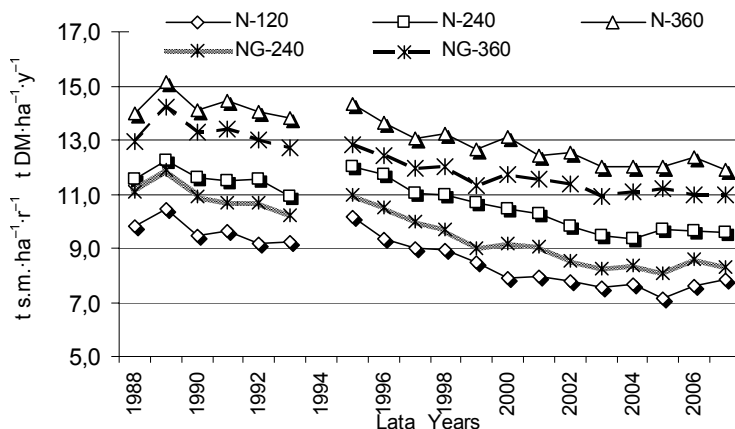
OMÓWIENIE WYNIKÓW

PLON SUCHEJ MASY

Utrzymywanie zawartości wody w glebie na optymalnym poziomie, na świeżo zagospodarowanym nieużytku oraz rozpoczęcie systematycznego nawożenia skutkowało stosunkowo dużymi plonami roślinności w ciągu pierwszych 3 lat doświadczenia, gdy zbierano trzy pokosy runi oraz przez następne 7 lat, w których stosowano 4 pokosy. Po tym czasie roczne plony suchej masy utrzymywały się na wyrównanym poziomie (rys. 1). Utrzymywanie stałej zawartości wody glebie powodowało, że plony w kolejnych trzech pierwszych pokosach były podobne, a wyraźnie mniejsze w czwartym pokosie (tab. 2). Plony suchej masy z obiektów, na których stosowano częściowo nawóz naturalny – gnojówkę, były we wszystkich pokosach mniejsze niż z obiektów, na których stosowano tylko nawozy mineralne.

ZAWARTOŚĆ FOSFORU W ROŚLINNOŚCI I JEGO POBRANIE

Zawartość fosforu w większości próbek odpowiadała na ogół wymaganiom paszy dobrej jakości i wynosiła $4,0 \text{ mg P}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. Obserwowano tendencję do zwiększania się zawartości fosforu w roślinności w miarę zwiększania dawek na-



Rys. 1. Średnie roczne plony suchej masy z wszystkich pokosów; źródło: wyniki własne

Fig. 1. Mean annual dry matter yield from all cuts; source: own studies

Tabela 2. Średnie plony suchej masy w kolejnych pokosach, t s.m.·ha⁻¹**Table 2.** Mean yield of dry matter in subsequent cuts, t DM·ha⁻¹

Obiekt Object	Lata 1988–1990 The years 1988–1990			Lata 1991–2007 The years 1991–2007			
	I pokos I cut	II pokos II cut	III pokos III cut	I pokos I cut	II pokos II cut	III pokos III cut	IV pokos IV cut
	N-120	3,50	3,51	2,88	2,43	2,48	2,29
N-240	4,00	4,25	3,57	3,08	3,07	2,80	1,54
N-360	4,57	5,17	4,67	3,68	3,72	3,53	1,96
NG-240	3,92	4,07	3,32	2,80	2,76	2,49	1,27
NG-360	4,24	4,86	4,36	3,44	3,38	3,22	1,70

Źródło: wyniki własne. Source: own studies.

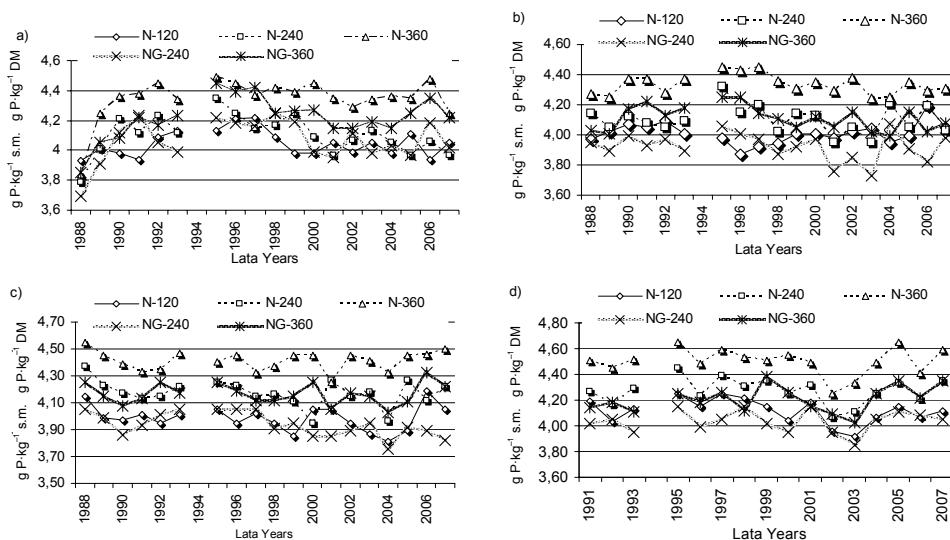
wozów, lecz różnice te były istotne tylko w nielicznych próbkach z niektórych pokosów i lat (tab. 3). Podobną tendencję do mniejszych zawartości fosforu obserwowano, również tylko w nielicznych przypadkach, w roślinności z obiektów, na których stosowano gnojówkę. Nie stwierdzono również istotnych różnic tej zawartości próbkach z kolejnych odrostów (tab. 3, rys. 2). Ten brak istotnych różnic wynika, być może, nie tylko z utrzymywania optymalnej ilości wody w glebie, lecz również z postępowania analitycznego; próbki z każdego poletka obiektu analizowano oddzielnie, co łagodziło różnice losowe.

Pobranie fosforu z plonem było największe w pierwszych latach doświadczenia, aby po renowacji łąki w 1994 r. systematycznie się zmniejszać do 2001 r., po którym nastąpiła stabilizacja, proporcjonalna do plonów suchej masy (rys. 3). Pobranie fosforu z obiektów nawożonych gnojówką było mniejsze niż z nawożonych

Tabela 3. Średnia zawartość fosforu w roślinności, g P·kg⁻¹ s.m.**Table 3.** Mean phosphorus content in plant material, g P·kg⁻¹ DM

Objekt Object	Lata 1988–1990 The years 1988–1990			Lata 1991–2007 The years 1991–2007			
	I pokos I cut	II pokos II cut	III pokos III cut	I pokos I cut	II pokos II cut	III pokos III cut	IV pokos IV cut
N-120	3,97	4,02	4,04	4,07	4,00	3,98	4,11
N-240	4,00	4,10	4,26	4,12	4,10	4,16	4,27
N-360	4,15	4,30	4,46	4,39	4,34	4,41	4,50
NG-240	3,91	3,94	3,97	4,08	3,92	3,93	4,04
NG-360	3,99	4,07	4,16	4,26	4,11	4,17	4,21

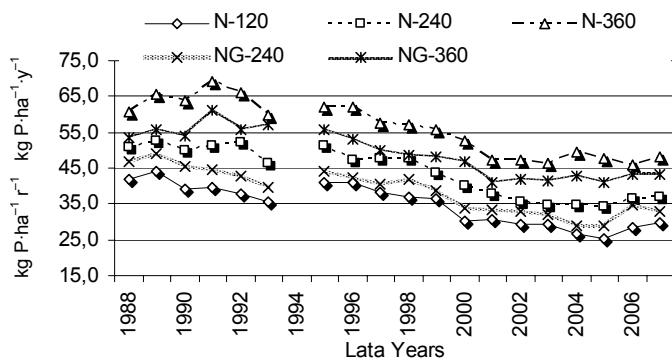
Źródło: wyniki własne. Source: own studies.



Rys. 2. Zawartość fosforu w suchej masie roślinności z kolejnych pokosów: a – I pokos, b – II pokos, c – III pokos, d – IV pokos; źródło: wyniki własne

Fig. 2. Phosphorus content in dry matter of plants from subsequent cuts: a – I cut, b – II cut, c – III cut, d – IV cut; source: own studies

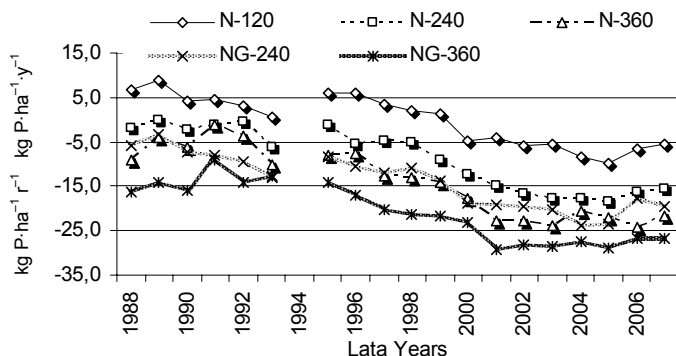
mineralnie. Wynikało to zarówno z mniejszej zawartości tego składnika w roślinności, jak i mniejszych plonów suchej masy, mimo że dawka nawozu fosforowego na porównywanych obiektach była taka sama, aczkolwiek zawartość tego pierwiastka w gnojówce była niewielka i ostatecznie prawie cały fosfor pochodził z nawozu mineralnego.



Rys. 3. Roczne pobranie fosforu z plonem roślinności, sumarycznie z wszystkich pokosów; źródło: wyniki własne

Fig. 3. Annual phosphorus uptake by plant crops, total from the subsequent cuts; source: own studies

Pobranie fosforu było mniejsze niż jego ilości zastosowane z nawozami, z wyjątkiem obiektu N-240 w pierwszych dwunastu latach doświadczenia, kiedy było ono większe o ok. $5 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$ (rys. 4). Na obiektach N-360 i NG-360 pobranie w ostatnich siedmiu latach doświadczenia było aż ok. 2,5 razy mniejsze od stosowanej na nich dawki nawozu wynoszącej $70 \text{ kg P}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{r}^{-1}$. Niepełne wykorzystywanie fosforu, zastosowanego z nawozami zachęciło do rozważenia możliwości wykorzystania tego nadmiaru po zaniechaniu nawożenia tym składnikiem w następnych latach.

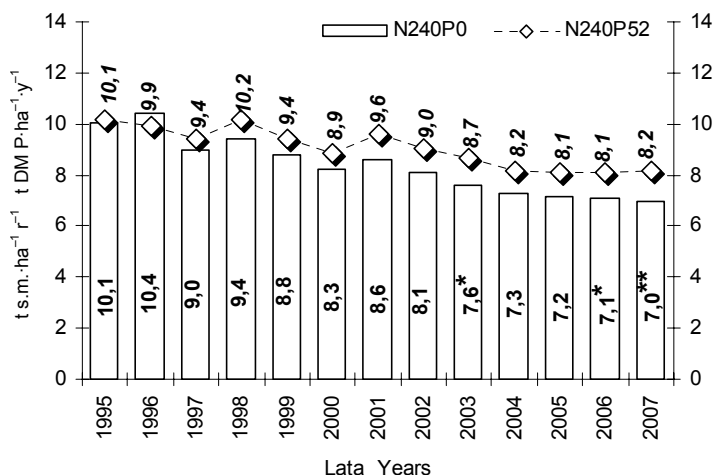


Rys. 4. Różnica między ilością fosforu pobraną przez roślinność z plonem a ilością zastosowaną z nawozami na poszczególne obiekty; źródło: wyniki własne

Fig. 4. Difference between the amount phosphorus in plant yield and that applied with fertilisers on particular objects; source: own studies

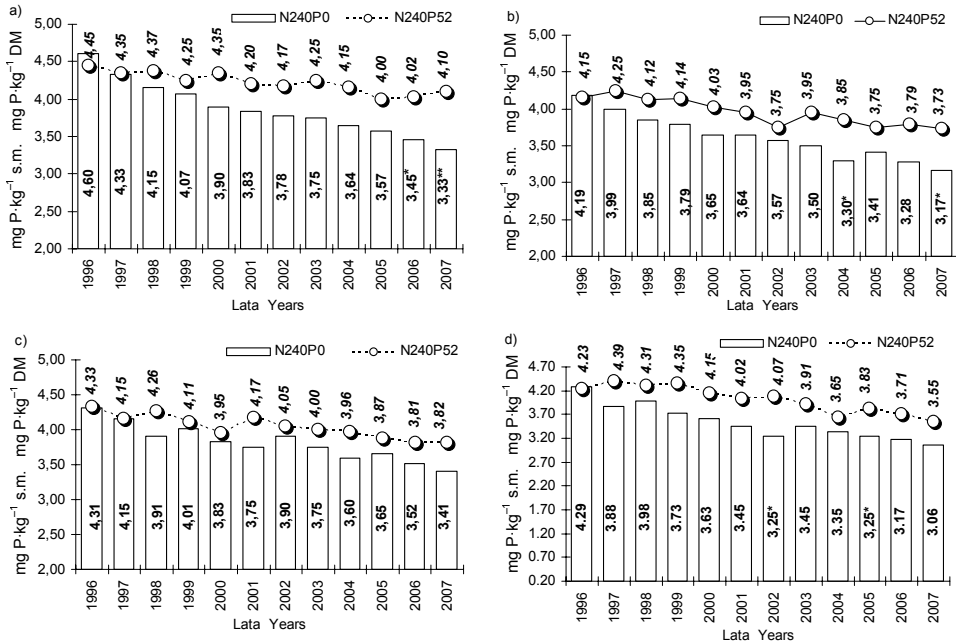
WPLYW ZANIECHANIA NAWOŻENIA FOSFOREM

Badania umiejscowiono na obiekcie nawozowym N-240, który od początku doświadczenia był prowadzony w dwóch powtórzeniach z zamiarem ewentualnego zróżnicowania dawek nawozów po stabilizacji układu. Zaniechano nawożenia fosforem w 1996 r., w dziewiątym roku doświadczenia, w okresie, w którym plony suchej masy zaczęły ulegać stabilizacji (rys. 1). Spodziewano się, że zaniechanie nawożenia fosforem będzie skutkowało zmniejszeniem zawartości tego składnika w roślinności oraz plonu suchej masy, lecz pozostało pytanie, po ilu latach po zaniechaniu nawożenia te zmiany będą istotne. Istotne zmniejszenie plonu obserwowano po raz pierwszy dopiero w ósmym i kolejno w dziesiątym i jedenastym roku po zaniechaniu nawożenia fosforem (rys. 5). Zawartość fosforu w suchej masie roślinności z obydwóch obiektów zmniejszała się systematycznie w kolejnych latach. Zmniejszanie to było bardziej widoczne w roślinności z obiektu nienawożonego fosforem ($N_{240}P_0$) w porównaniu z obiektem kontrolnym ($N_{240}P_{52}$). Różnice w zawartości fosforu w roślinności z obydwóch obiektów były istotne dopiero po ośmiu latach po zaniechaniu nawożenia fosforem i to nie we wszystkich pokosach (rys. 6). Zawartość fosforu w roślinności z obiektu $N_{240}P_{52}$ utrzymywała się powyżej $3,5 \text{ mg P}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. w próbkach ze wszystkich pokosów. W roślinności z obiektu $N_{240}P_0$ zawartość ta była mniejsza, lecz nadal większa niż $3,0 \text{ mg P}\cdot\text{kg}^{-1}$ s.m. mimo dwunastoletniego zaniechania nawożenia tym składnikiem.



Rys. 5. Średnie roczne plony suchej masy z wszystkich pokosów po zaniechaniu nawożenia fosforem obiektu $N_{240}P_0$ w 1996 r.; * – różnice istotne, gdy $p < 0,10$, ** – różnice istotne, gdy $p < 0,05$; źródło: wyniki własne

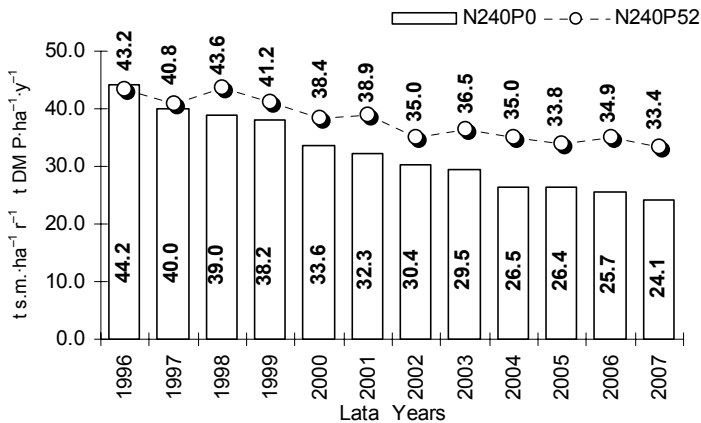
Fig. 5. Mean annual dry matter yield from all cuts after abandonment of phosphorus fertilisation on object $N_{240}P_0$ in 1996; * – significant differences at $p < 0.10$, ** – significant differences at $p < 0.05$; source: own studies



Rys. 6. Zawartość fosforu w suchej masie roślinności z kolejnych pokosów: a – I pokos, b – II pokos, c – III pokos, d – IV pokos po zaniechaniu nawożenia fosforem obiektu N₂₄₀P₀; * – różnice istotne, gdy $p < 0,10$, ** – różnice istotne, gdy $p < 0,05$; źródło: wyniki własne

Fig. 6. Phosphorus content in dry matter of plants from subsequent cuts: a – I cut, b – II cut, c – III cut, d – IV cut after abandonment of phosphorus fertilisation on object N₂₄₀P₀;

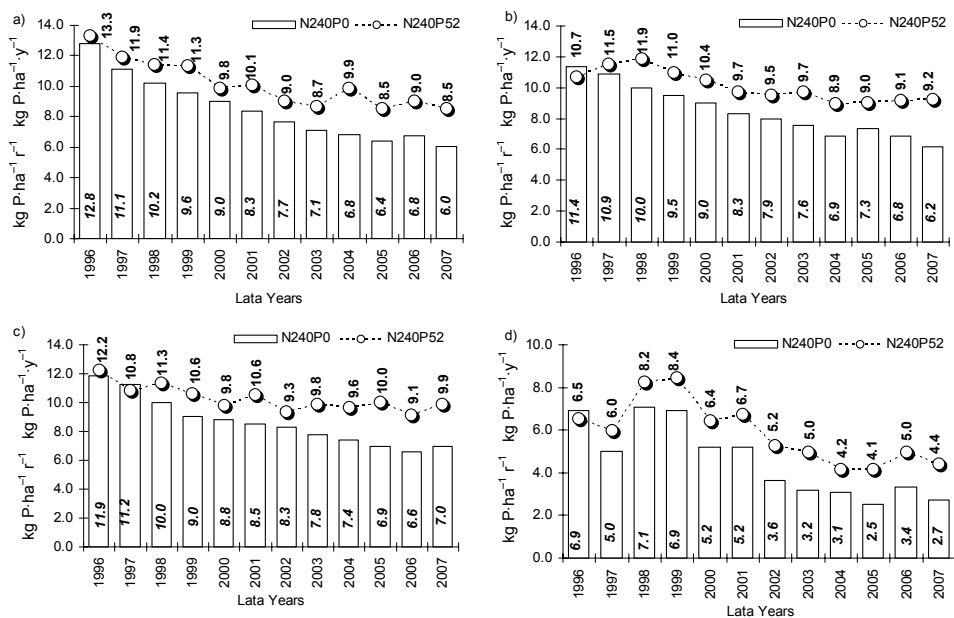
* – significant differences at $p < 0,10$, ** – significant differences at $p < 0,05$; source: own studies



Rys. 7. Średnie roczne pobranie fosforu przez roślinność z wszystkich pokosów; źródło: wyniki własne

Fig. 7. Mean annual phosphorus uptake by plants from all cuts; source: own studies

Pobranie fosforu z plonem zmniejszało się w latach proporcjonalnie do zmniejszania się plonu suchej masy i zawartości w niej fosforu. Przez 20 lat trwania doświadczenia obiekt N₂₄₀P₅₂ systematycznie nawożono 51,5 kg P·ha⁻¹·r⁻¹. W ciągu 12 lat opisanych obserwacji rośliny pobrały 436 kg P, czyli 71% zastosowanej ilości, co odpowiada systematycznemu wzbogacaniu gleby o 15 kg P·ha⁻¹·r⁻¹. Z obiektu nienawożonego fosforem rośliny pobrały w tym czasie 362 kg P·ha⁻¹·r⁻¹, co oznacza, że z gleby systematycznie ubywało 21 kg P·ha⁻¹·r⁻¹ (rys. 7). Omawianą różnicę w pobraniu tego składnika obserwowano we wszystkich pokosach (rys. 8).



Rys. 8. Średnie roczne pobranie fosforu przez roślinność kolejnych pokosów: a – I pokos, b – II pokos, c – III pokos, d – IV pokos; źródło: wyniki własne

Fig. 8. Mean annual phosphorus uptake by plants in subsequent cuts: a – I cut, b – II cut, c – III cut, d – IV cut; source: own studies

PODSUMOWANIE

Omawiane doświadczenie było założone w celu śledzenia zachowania się azotu w glebach łąkowych, a stosowane nawożenie fosforem było niezbędnym zabiegiem. Poziom nawożenia azotem decydował o plonie suchej masy, który regularnie malał w kolejnych latach doświadczenia (rys. 1) [SAPEK 2010]. Zawartość fosforu w roślinności nie ulegała w tym czasie większemu zmniejszeniu i ustabilizowała się na stałym poziomie po renowacji łąki w 1995 r. (rys. 2). Pobranie fosforu z plonem roślinności zależało przede wszystkim od jego wielkości, a nie od zawartości

fosforu w roślinności (rys. 3). Wykorzystanie fosforu w warunkach stosowania nawozu naturalnego – gnojówki, ubogiej w ten składnik, było mniejsze mimo pełnego uzupełniania nawożenia fosforem z nawozów mineralnych. W warunkach prowadzonego doświadczenia pobranie fosforu i jego zawartość w roślinności zmniejszały się w kolejnych latach, mimo wyraźnego zwiększania się jego zasobów w glebie. Być może wynikało to z degradacji zbiorowiska roślinnego.

Pole, na którym założono doświadczenie, było położone w majątku ziemskim istniejącym od ponad 300 lat. Z uzyskanych informacji wynika, że przed i po 1939 r. było ono użytkowane jako łąka kośna lub służyło jako wybieg dla jałówek. W latach 60. ubiegłego wieku pole wykorzystywano jako boisko sportowe. Nie znaleziono żadnych danych o nawożeniu łąki mineralnym fosforem przed założeniem doświadczenia. Gleba była średnio zasobna w fosfor w chwili rozpoczęcia badań w 1987 r., co mogło wynikać z uprzedniego wykorzystywania łąki jako wybiegu lub pastwiska. Przyjęty w doświadczeniu poziom nawożenia fosforem był optymalny, według ówczesnie przyjętych zaleceń. W pierwszych 9 latach prowadzenia doświadczenia na wydzielony obiekt nawożony $240 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$ zastosowano w sumie $464 \text{ kg P kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$, z których rośliny pobrały w tych latach $438 \text{ kg P kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{r}^{-1}$, czyli niecałą ilość wprowadzoną z nawozami. Różnica między ilością fosforu zastosowanego a pobranego zaczęła się zwiększać po 1996 r., by osiągnąć równowagę w 2000 r.

Zaniechanie nawożenia fosforem bliźniaczego obiektu N-240 w 1996 r. wpływało ujemnie w kolejnych latach na plon suchej masy i zawartość tego składnika w roślinności, lecz z widocznym opóźnieniem. Stan taki utrzymywał się przez następne 12 lat (rys. 5, 6), co potwierdza niektóre poglądy o możliwości znacznego zmniejszenia nawożenia fosforem użytków zielonych nawożonych tym składnikiem przez wiele lat [CRAIN, JACKSON 2010; SCHÄRER i in. 2007; EHLER i in. 2006]. Przywołani autorzy rozpatrywali zagadnienie z punktu widzenia wyczerpywania się kopalnych złóż fosforanów oraz zagrożenia wymywania fosforu do zasobów wody, powodującego jej eutrofizację. Zagrożenie to wynika z faktu, że gleby trwałych użytków zielonych są bogate w próchnicę, co powoduje, że większość fosforu występuje w nich w postaci organicznej, która łatwiej ulega rozpuczczeniu w wodzie, i z którą ten składnik przemieszcza się do jej zasobu poniżej użytku.

WNIOSKI

1. Czynnikiem decydującym o pobraniu fosforu był plon suchej masy, który malał w pierwszych 12 latach doświadczenia, by w następnych utrzymywać się na wyrównanym poziomie. Zawartość składnika w roślinności utrzymywała się na podobnym poziomie przez cały czas doświadczenia.

2. Pobrana ilość fosforu w pierwszych 7 latach doświadczenia odpowiadała $100 \pm 10\%$ ilości zastosowanej z nawozami. W końcowej fazie doświadczenia po-

branie to odpowiadało tylko od 40 do 60% ilości zastosowanej, z wyjątkiem obiektu o najniższym poziomie nawożenia azotem.

3. Pobranie fosforu na obiektach częściowo nawożonych gnojówką było zaw sze mniejsze niż na nawożonych mineralnie.

4. Po zaniechaniu nawożenia fosforem obserwowano bardzo powolne zmniejszanie się plonu suchej masy i zawartości tego składnika w roślinności, lecz różnice, gdy $p < 0,10$, były istotne dopiero po 8 latach.

5. W pierwszych 5 latach po zaniechaniu nawożenia fosforem obserwowano tylko niewielkie zmniejszenie plonów oraz zawartości tego składnika w roślinności w porównaniu z obiektem z zachowanym nawożeniem fosforem. Istotne różnice stwierdzano dopiero po 8 latach od zaniechania nawożenia.

LITERATURA

- CRAIN J.M., JACKSON R.D. 2010. Plant nitrogen and phosphorus limitation in 98 North American grassland soils. *Plant and Soil*. Vol. 334 no 1–2 s. 73–84.
- EHLER P., VAN DER SALM C., SCHOUMANS O. 2006. Long-term effect on soil of restricted use of phosphate fertilisers. *The International Fertiliser Society. Proceeding*. No 593 s. 2–22.
- Elaboration of agricultural management systems with limited nitrogen losses from soil due to nitrate leaching and denitrification – sponsored by US Department of Agriculture s. 1987–1994.
- SAPEK A., WALCZUK T. 2009. Bilans składników nawozowych w diecie krowy mlecznej. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*. T. 9 z. 1 s. 99–109.
- SAPEK A. 2010. Obieg azotu w układzie gleba–roślinność w warunkach 20-letniego doświadczenia łąkowego w Falentach. *Woda Środowisko Obszary Wiejskie*. T. 10 z. 4 s. 165–178.
- SCHÄRER M., STAMM C., VOLLMER T., FROSSARD E., OBERSON A., FLÜHLER H., SINAJ S. 2007. Reducing phosphorus losses from over fertilized grassland soils proves difficult in the short term. *Soil Use and Management*. Vol. 23 s. 154–164.

Andrzej SAPEK

CHANGES OF PHOSPHORUS UPTAKE AND ITS CONTENT IN PLANTS – AN EXAMPLE OF 20-YEAR MEADOW EXPERIMENT IN FALENTY

Key words: abandoned P fertilisation, fertilisation, grassland, long-term experiment, phosphorus

S u m m a r y

A field experiment was conducted on the effect of long-term phosphorus fertilisation of permanent meadow on phosphorus uptake and content in sward. The experiment was performed with controlled water and air content in soil obtained by detaching capillary rising and supplementing water deficits by sprinkler irrigation. Dry matter yield was the main factor controlling phosphorus uptake but not its content in sward. The yield was decreasing during the first 12 years of experiment, but in the next seasons was more stable. The phosphorus uptake with crops was equal to $100 \pm 10\%$ its quantity applied with fertiliser. At the end of experiment this uptake was only 40 to 60% of phosphorus

from fertilisers, with the exception of object least fertilised with nitrogen. Phosphorus uptake was smaller in objects fertilised with liquid manure than in objects treated with mineral fertilisers.

Only a slight decrease of yield and of phosphorus content in sward was observed during the first 5 years after abandonment of phosphorus fertilisation as compared with the fertilised object. Significant ($p < 0.10$) differences were observed not earlier than 8 years after abandonment of fertilisation. Results from a meadow moderately rich in phosphorus confirm the assumption that for environmental protection it is possible to mitigate or temporarily abandon P fertilisation without a risk of substantial economic losses. This, however, should be confirmed in more experiments of meadow fertilisation with phosphorus which are at present not undertaken.

Recenzenci:

prof. dr hab. Kazimierz Mazur

prof. dr hab. Piotr Wesółowski

Praca wpłynęła do Redakcji 22.11.2010 r.